

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2002-532705

(P2002-532705A)

(43) 公表日 平成14年10月2日 (2002. 10. 2)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 C 19/72

識別記号

F I

G 0 1 C 19/72

データベース\* (参考)

J 2 F 1 0 5

S

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 42 頁)

(21) 出願番号 特願2000-588571(P2000-588571)  
(86) (22) 出願日 平成11年11月9日 (1999. 11. 9)  
(85) 翻訳文提出日 平成13年6月18日 (2001. 6. 18)  
(86) 国際出願番号 PCT/US 99/26517  
(87) 国際公開番号 WO 00/36375  
(87) 国際公開日 平成12年6月22日 (2000. 6. 22)  
(31) 優先権主張番号 09/215, 581  
(32) 優先日 平成10年12月17日 (1998. 12. 17)  
(33) 優先権主張国 米国 (US)  
(81) 指定国 EP (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), BR, CA, JP

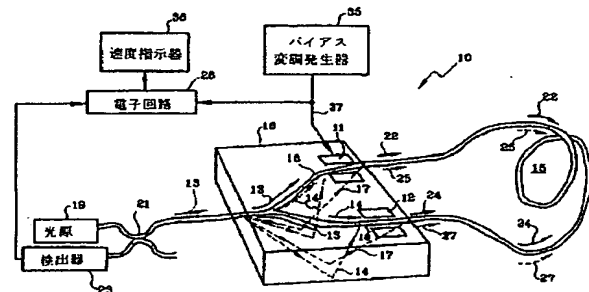
(71) 出願人 ハネウエル・インコーポレーテッド  
アメリカ合衆国・07962・ニュージャージー  
州・モーリスタウン・コロンビア ロード・101  
(72) 発明者 スザフラニーク, ボグダン  
アメリカ合衆国 アリゾナ州 85024, フ  
エニツクス, イースト ユニオン ヒルズ  
シャープ1042 1717  
(72) 発明者 ブレイキ, ジェイムズ エヌ.  
アメリカ合衆国 アリゾナ州 85254, ス  
コツデイル, イースト マイケル ドライ  
ブ 5528

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 同一方向に伝播する、並びに反対方向に伝播する偏光誤差の抑制を変調した光ファイバジャイロスコープ

(57) 【要約】

偏光誤差を補正する変調機能を有した光ファイバジャイロスコープであり、偏光誤差は主波及び従波のクロスカップリングされた波間の干渉から生じさせることを目的とする。これらの誤差信号は除去することが極めて困難であるが、変調信号が期間に亘って全誤差を最少にする集積光チップに印加可能にされ、相互が区別され、且つ連係した変調信号を検出コイルの対向する入力部に対し与えることにより、各種の偏光誤差が変調信号期間に亘りゼロに平均化できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源と、光源と連結されパス軸及びリジェクト軸を有する偏光子と、光源と連結された第1のポートを有するスプリッタと、スプリッタの第3のポートに接続される第2の端部と第2のポートに接続される第1の端部とを有する検出ループと、スプリッタの第2のポートの近傍の第1の変調器と、第1の変調器と接続される第1の信号発生器とを備え、光源は偏光子に対し光を与え、偏光子のパス軸を通過する光はパス偏光状態を有し、リジェクト軸を通過する光はリジェクト偏光状態を有し、第1の変調器はパス偏光状態の光を変更し、スプリッタは第1の端部で第2のポートを出て検出ループ内に入る第1の主波と第2の端部で第3のポートを出て検出ループ内に入る第2の従波とに光をスプリットし、検出ループの第2の端部を出て第3のポートに入りスプリッタに入る第1の従波と検出ループの第1の端部を出て第2のポートに入りスプリッタに入る第2の従波とを合成し、スプリッタの第1のポートから合成した波を出力し、第1及び第2の従波はパス偏光状態を有し、主波の一部のクロスカップリングによりリジェクト偏光状態を有する従波が得られ、振幅型偏光誤差が光ファイバジャイロスコープ内に生じ、各振幅型の偏光誤差は主波及び従波間の干渉により発生され、第1の信号発生器からの第1の変調信号がいくつかの振幅型偏光誤差を抑制してなる偏光誤差抑制を有する光ファイバジャイロスコープ。

【請求項2】 ビーム光を与える工程と、偏光子でビーム光を偏光する工程と、ビーム光を第1及び第2の主光波にスプリットする工程と、光ファイバ検出ループ内に第1及び第2の主光波を入力する工程と、変調器における共通周期  $\tau$  を有する第1及び第2の主光波を変調する工程とを包有してなり、第1及び第2の主光波は光ファイバ検出ループ内を反対方向に伝播し、第1及び第2の主光波の平均は  $\sin(\phi_m) [\cos(\phi_1 - \phi_m + \Psi) + \cos(\phi_1 + \Psi)] = 0$

及び  $\sin(\phi_m) [\cos(\phi_2 + \phi_m + \gamma) + \cos(\phi_2 + \gamma)] = 0$  で示され、

ここに  $\phi_m = \phi_1(1) - \phi_1(t + \tau) + \phi_2(t + \tau) - \phi_2(t)$  及び  $\phi$  と  $\gamma$  は任意の位相角度である光ファイバジャイロスコープ内の偏光誤差を減

(3)

特表2002-532705

少させる方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## (技術分野)

この発明は同一方向に出ない伝播する、並びに反対方向に伝播する偏光誤差の抑制を変調した光ファイバジャイロスコープに関する。

## 【0002】

## (背景技術)

代表的な光ファイバジャイロスコープでは、ジャイロスコープによる回転検出誤差を引き起こす偏光現象が存在する。ある偏光誤差はある偏光状態から別の偏光状態へ連係されている光により引き起こされる。例えばプロトン交換集積光回路を有するジャイロスコープの場合、前記の連係是集積光回路が光源及び光ファイバ検出ループと結合するとき生じる。この集積光回路の位相変調は、ある偏光状態を変調器に加えるある信号に対する別の偏光状態の場合と異なるように動作する。各種の偏光誤差のあるソース及び特性は本発明以前の従来技術において周知でないものと考えられる。このソース及び特性の識知及びこれに続く解決法が開示される。

## 【0003】

光ファイバジャイロスコープにおける振幅及び強度型偏光誤差を抑制する構成では微妙な変調信号を使用する。ジャイロスコープの検出ループ内の1つあるいは複数の位相変調器は偏光子のリジェクト軸に沿って偏光された少量の光に対する場合より偏光子のパス軸に沿って偏光された光に対し異なるように作用する。この状態是集積光回路変調器の場合に存在する。プロトン交換リチウム・ニオベート変調器の場合、残留するリジェクト軸の光是集積光回路を経て別の光路を通過するので、実質的に位相が変調されない。導波管は光の1偏光を案内するだけである。チップを通過する他の偏光状態の光の漏れは位相変調器をバイパスする散乱される光に起因する。結果として偏光誤差を除去する本発明においては偏波面保存(PM)型光ファイバジャイロスコープ及び減偏光(SM)型光ファイバジャイロスコープの両方に適用される。

## 【0004】

この偏光誤差抑制を得るため複数の実施形態が存在する。一の実施形態はバイアス変調により複数の偏光誤差を抑制し、減少化技術により残余の誤差を抑制する開ループ信号処理システムである。この技術は1994年7月5日に発行された「モードカップリング誤差の構成制御」の名称の、ブレーク等による米国特許第5,327,213号に開示されている。また1994年12月27日に発行され「モードカップリング誤差の構成制御」の名称の、ブレーク等による米国特許第5,377,283号に本明細書の参考になる技術事項が開示される。別の開ループ処理システムはバイアス変調で幾つかの偏光誤差を抑制し、検出ループの反対側に配置される第2の位相変調器に供給される特定基準を満足する変調信号で他の偏光誤差を抑制する。ある特定基準を満足するランプ状波形を有する閉ループ信号処理システムでは変調信号がループの両側に配置される変調器へ供給され、またバイアス変調信号はループの片側あるいは両側の変調器へ供給される。

#### 【0005】

振幅型及び強度型の偏光誤差を説明するために一般式が開示される。この式は位相変調器が2個の偏光状態を同一の方法で影響を与えることを含んでいる。この場合ループ内の同一方向に伝播する主波及び疑似波間には無視できる交流干渉が存在する。主波は好ましい偏光波であり、疑似波即ち従波は拒絶される偏光波である。これは全ファイバジャイロスコープにおける状態である。顕著な偏光誤差のすべてがループ内の反対方向に伝播する各種の波間の干渉により生じる。

#### 【0006】

##### (発明の開示)

本発明によれば、1あるいはそれ以上の位相変調器が同一の方法で主偏光状態及び従偏光状態に影響を与えず、同一の方向に伝播する波もジャイロスコープの復調バンド幅内の交流干渉項を生じる場合の偏光誤差問題が解決される。この場合結果として4種の振幅偏光誤差及び1種の強度偏光誤差が生じる。異なる種類の誤差は区別され誤差を除去するために与えられた各種の変調を有する。各種の誤差干渉に与えられる変調はまた主信号に与えられる変調と異なる。このため変調技術により誤差を抑制可能であり、良好な信号感度が維持可能になる。

## 【0007】

(発明を実施するための最良の形態)

光ファイバジャイロスコープ内の振幅型及び強度型偏光誤差を抑制する本発明においては微妙な変調信号を使用する。図1のジャイロスコープ10の検出ループ15内の一つの位相変調器11あるいは複数の変調器11、12は偏光子16のリジェクト軸に沿って偏光される少量の光14の場合とプロトン交換式リチウム・ニオブート(LiNbO<sub>3</sub>)集積光回路16(本来偏光子)のパス軸に沿って偏光される光13の場合とは異なるように作用する必要がある。このような事態は実寸ではない図1に示す集積光回路16内の位相変調器11、12に存在する。プロトン交換LiNbO<sub>3</sub>、位相変調器11、12の場合残りのリジェクト軸光17は、変調パス軸を通過する光13とは異なるチップ16を経た物理的光路を通過するので、実質的に位相変調されない。導波管18は光13の一方の偏光を案内するだけである。チップ16を通過する光の他方の偏光状態の漏れは位相変調器11、12をバイパスする散乱された光17のためによる。光源19は集積光回路(IOC)16に対し光13を与える。IOC16から戻る光はカップラ21を経て検出器23へ送られる。検出器13は戻った光信号34を電気信号に変換する。この電気信号は電子回路26へ送られる。バイアス発生器35はライン37上のバイアス変調信号を位相変調器11及び電子回路26に対し与える。電子回路26の出力はループ15の回転速度を示しており、速度指示器36へ送られる。図2において図1の要素と同一のものには同一の参照番号を付して示してある。

## 【0008】

図2においてはループ15の片側に付設される位相変調器11を有したプロトン交換部LiNbO<sub>3</sub>IOC16を備えた開ループ光ファイバジャイロスコープ20の簡略図を示す。ライン37上のバイアス変調信号 $\phi_1$ を有する発生器28は位相変調器11を駆動する。発生器28からの基準信号は復調のために開ループ電子回路26に対し与えられる。ループ15のこの側は主時計方向(CW)光波22がループに入力する場所である。主反時計方向(CCW)光波24はループ15の対向側に入る。疑似CW光波25及び疑似CCW光波27は偏光子1

6のリジェクト軸を通過し、次にループ15に入る。更に疑似光波25、27は位相変調器11により影響されないが、両方の主光波22、24は影響される。光波24はループに入る際に影響される。主CCW光波24及び疑似CW光波25間の干渉により生じる周知な振幅型誤差信号は主CW光波22及び疑似CW光波25間の干渉によって生じる等しく対向する誤差により無効にされる。この偏光誤差がループの片側の変調により自動的に抑制されるので、疑似CW光波25がインコヒレントに主CW光波22及び主CCW光波24と干渉するようにすればよく、正確且つ確実にする必要がない。疑似CCW光波27が主CW光波22及び主CCW光波24とインコヒレントに干渉するよう疑似CCW光波27を減少化し偏光誤差を抑制することができる。

#### 【0009】

図3は各発生器28、29により駆動されるループ15の両側に位相変調器11、12を有するIOC16を備えた開ループ光ファイバジャイロスコープ30の略図である。ライン37を経て発生器28からのバイアス変調信号 $\phi_1$ は疑似CW光波25と連係する振幅型誤差を抑制する効果のあるループ15の片側（即ち、位相変調器11）に再び印加される。変調発生器29からの第2の変調信号 $\phi_2$ がループ15のCCW側の第2の変調器12に印加されて、主光波22、24と干渉する疑似CCW光波27と連係する振幅型偏光誤差を抑制する。第2の変調信号 $\phi_2$ はセンサ30の動作と干渉しない周波数成分を有する。更に第2の変調信号 $\phi_2$ は $\cos \phi_2 = 0$ の平均値の基準を満足する。ここに $\phi_2$ は第2の変調器12によるIOC16の偏光子のパス軸に沿って偏光される光に与えられる位相変調であり、 $\phi_2$ は例えば主光波22、24と干渉する疑似CCW光波27と連係した振幅型偏光誤差を抑制する正弦波、三角波あるいはノコギリ波にできる。

#### 【0010】

図4は閉ループ光ファイバジャイロスコープ40の略図を示す。IOC16はループ15のCW側に位相変調器11をループのCCW側には変調器12を有している。発生器31から加算器33を経てライン38上のバイアス変調信号が位相変調器11、12に印加される。またバイアス変調信号はIOC16の変調器

の一のみに印加可能である。加算器33を経て発生器32からの閉ループ、ランプ状信号 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ はまた変調器11、12に印加される。位相変調器11に印加される信号は $\phi_1$ であり変調器12に印加される信号は $\phi_2$ である。閉ループ信号の振幅は検出器23からの電気信号により決まる電子回路39により設定される。検出器23はI O C 16を経てループ15から戻る光を入力する。ファイバのループ巻きと平行な平面に対し垂直な軸を中心にループ15が回転する結果、主光波22、24間に位相シフトが生じる。位相シフトされた主光波間の干渉は検出され信号として電子回路39、ランプ発生器32及び変調器11、12へ送られる。回転中このフィードバック信号により主光波22、24が互いに逆位相にされる。このフィードバック信号量はループ15の回転速度を示す。一方検出器23における光の干渉は特に疑似波の結果である。従って電子回路39、ランプ発生器32及び変調器11、12への信号は誤差を生じその結果回転速度の指示が不正確になる。この不正確な指示は偏光のクロスカップリング（連係接続）のためである。

#### 【0011】

バイアス変調信号及び閉ループ信号の波形はデジタル的なステップからなり、各ステップの期間はループ15の周囲の光の遷移時間に等しい。信号 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ は時間関数であり以下の基準を満足する。

#### 【0012】

$$E\{\sin(\phi_m)*[\cos(\phi_2+\phi_m+\psi)+\cos(\phi_2+\psi)]\}=0$$

$$E\{\sin(\phi_m)*[\cos(\phi_1-\phi_m+\gamma)+\cos(\phi_1+\gamma)]\}=0,$$

#### 【0013】

ここにwhere  $\phi_m = \phi_1(t) - \phi_1(t+\tau) + \phi_2(t+\tau) - \phi_2(t)$  (t)は反対方向に伝播する主光波間の変調器により与えられる全位相差変調であり、 $\psi$ 及び $\gamma$ は任意の位相角である。E {} は外囲した波形の平均（あるいは予想）値を示す。平均時間はループ閉鎖の1周期である。

#### 【0014】

システム40の1実施形態は4ステップデュアルランプ波形である閉ループ波形を有する。閉ループ信号に対する別のシステムは変調器11、12に夫々印加



される別個のゼロサイン波形であるデュアルゼロサインシステムである。別のシステムはある種の閉ループ信号を使用し次に上述した基準を満足する干渉しない周波数成分からなる波形を加えることである。

【0015】

一般に、偏光誤差を抑制する変調技術は以下の基準を有している。

【0016】

$$E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \phi_m + \gamma) + \cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \gamma)]\} = 0$$

$$E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} - \phi_m + \psi) + \cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} + \psi)]\} = 0$$

【0017】

ここに、添え字「x」「y」はチップ16の両側の光のx及びy（主及び疑似）軸で伝播する光に供給される位相変調信号を示すためにし加された。

【0018】

更に詳述するに同一方向に伝播する偏光誤差を使用して反対方向に伝播する偏光誤差が無効にされる。この方法は、位相変調により主及び疑似偏光路が異なるように影響されるときに可能である。ここで満足すべき基準は以下の通りである。

【0019】

$$E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \phi_m + \gamma)]\} = -E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{2x} - \phi_{2y} + \gamma)]\}$$

$$E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} - \phi_m + \psi)]\} = -E\{\sin(\phi_m) * [\cos(\phi_{1x} - \phi_{1y} + \psi)]\}$$

【0020】

ジャイロスコープの検出ループ内の  $\bar{E}_w$ （時計方向に伝播したループを出る光）に対する  $\bar{E}_u$ （入力光波形）の関係は以下のジョーンズ行列により示され

る。図5は位相変調器11に対する  $\phi_{1x}(t)$  及び  $\phi_{1y}(t)$  の入力及び変調器12に対する入力  $\phi_{2x}(t)$  及び  $\phi_{2y}(t)$  を示す。

【0021】

$$\bar{E}_w = k \begin{bmatrix} e^{j\phi_{2x}(1+\tau)} & 0 \\ 0 & \epsilon_2 e^{j\phi_{2y}(1+\tau)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\phi_{1x}(t)} & 0 \\ 0 & \epsilon_1 e^{j\phi_{1y}(t)} \end{bmatrix} \bar{E}_L$$

【0022】

ここに、 $\phi_{1x}$  = 変調器 11 による x (パス) 偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{2x}$  = 変調器 12 による x (パス) 偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{1y}$  = 変調器 11 による y (リジェクト) 偏光された成分に印加される位相変調信号

$\phi_{2y}$  = 変調器 12 による y (リジェクト) 偏光された成分に印加される位相変調信号

$\tau$  = 伝播遅延時間

$\kappa$  = 偏光独立ロス及び位相シフト用のロスを含む定数

$\epsilon_1$  = 集積回路 16 の変調器 11 側の偏光消光比

$\epsilon_2$  = 集積回路 16 の変調器 12 側の偏光消光比

$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$  = ループを通過する光の偏光状態エボリューションを説明する

ジョーンズ行列

A = 検出コイル 15 内のファイバ長に亘って x (パス) 偏光軸での時計方向波 22 の量変化

B = x (パス) 偏光軸における時計方向波 22 に対し検出コイル 15 のファイバ長に亘りクロスカップリングされた y (リジェクト) 偏光軸の時計方向波 25 の光量

C = y (リジェクト) 偏光軸の時計方向波 25 に対し検出コイル 15 のファイバ長に亘りクロスカップリングされた x (パス) 偏光軸の時計方向波 22 の光量

D=検出コイル15のファイバ長にわたりy（リジェクト）偏光軸の時計方向波25の光量である。

【0023】

$$\Rightarrow \quad \bar{E}_{cw} = k \begin{bmatrix} Ae^{j[\phi_{1x}(t)+\phi_{2x}(t+r)]} & \epsilon_1 Be^{j[\phi_{1y}(t)+\phi_{2x}(t+r)]} \\ \epsilon_2 Ce^{j[\phi_{1x}(t)+\phi_{2y}(t+r)]} & \epsilon_1 \epsilon_2 De^{j[\phi_{1y}(t)+\phi_{2y}(t+r)]} \end{bmatrix} \bar{E}_{in}$$

【0024】

上述から反対方向に伝播する光の波形( $\bar{E}_{ccw}$ )に対する入力波形( $\bar{E}_{in}$ )の関係は

以下のようなである。

【0025】

$$\Rightarrow \quad \bar{E}_{ccw} = k \begin{bmatrix} e^{j\phi_{1x}(t+r)} & 0 \\ 0 & \epsilon_1 e^{j\phi_{1y}(t+r)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & -C \\ -B & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\phi_{2x}(t)} & 0 \\ 0 & \epsilon_2 e^{j\phi_{2y}(t)} \end{bmatrix} \bar{E}_{in} e^{j\phi_R}$$

$$\Rightarrow \quad \bar{E}_{ccw} = k \begin{bmatrix} Ae^{j[\phi_{2x}(t)+\phi_{1x}(t+r)]} & -\epsilon_2 Ce^{j[\phi_{2y}(t)+\phi_{1x}(t+r)]} \\ -\epsilon_1 Be^{j[\phi_{2x}(t)+\phi_{1y}(t+r)]} & \epsilon_1 \epsilon_2 De^{j[\phi_{2y}(t)+\phi_{1y}(t+r)]} \end{bmatrix} \bar{E}_{in} e^{j\phi_R}$$

【0026】

ここに  $\phi_R = \frac{2\pi LD}{\lambda c} \Omega$  はサニャック位相シフトであり、すべてCCW波内に含

まれ、Lは検出ループファイバの長さ、Dはループの直径、 $\lambda$ は光波長、cは光速、及び $\Omega$ は回転速度である。

【0027】

次に  $\bar{E}_{out} = \bar{E}_{cw} + \bar{E}_{ccw}$  と  $I_{out} = |\bar{E}_{out}|^2$  と定義する。

【0028】

ここに  $I_{out}$  はループを出る光の強度である。

【0029】

項を  $\varepsilon$  の一次のみに注目すると、 $\bar{E}_{in} = \begin{bmatrix} E_{ix} \\ E_{iy} \end{bmatrix}$  and  $I_{in} = |E_{in}|^2$  をとることによ

り見いだすことができる。

【0030】

$$I_{out} = k^2 |A|^2 I_{in} [2 + 2 \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t+\tau) + \phi_{2x}(t+\tau) - \phi_{2x}(t) - \phi_R]]$$

+ 4 誤差項

【0031】

最初の誤差項、誤差1は以下の通りである。

【0032】

$$k^2 \in_1 AB^* E_{in_x} E_{in_y} * e^{j[\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t)]} + c.c.$$

【0033】

ここにマーク\*の項はCW主ビームとCW疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。両方の偏光モードの変調が同一、即ち  $\phi_{1x} = \phi_{1y}$  である場合、誤差は変調されず変調バンド幅の外である。

【0034】

2番目の誤差項、誤差2は以下の通りである。

【0035】

$$k^2 \in_1 AB^* E_{in_x} E_{in_y} * e^{j[\phi_{2x}(t) - \phi_{2x}(t+\tau) - \phi_{1y}(t) - \phi_{1x}(t+\tau) - \phi_R]} + c.c.$$

【0036】

マーク\*の項はCCW主ビームとCW疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。この誤差は2種の振幅型偏光誤差の一方である。

【0037】

3番目の誤差項、誤差3は以下のとおりである。

【0038】

$$k^2 \in_2 AC^* E_{inx} E_{iny} * e^{j[A_{1x}(t)-A_{1x}(t+\tau)+\phi_{2x}(t+\tau)-\phi_{2y}(t)-\phi_R]} + c.c.$$

【0039】

マーク\*の項はCW主ビーム及びCCW疑似ビーム（あるいは複数のビーム）間の干渉による。この誤差は2種の主振幅型偏光誤差の他方である。

【0040】

4番目の誤差項、誤差3は以下の通りである。

【0041】

$$k^2 \in_2 AC^* E_{inx} E_{iny} * e^{j[\phi_{1x}(t)-\phi_{1y}(t)]} + c.c.$$

【0042】

マーク\*の項CCW主ビームとCW疑似ビーム（あるいは複数のビーム）との間の干渉による。最初の誤差の場合のように $\phi_{2x} = \phi_{2y}$ であるとき複屈折変調が存在しなければ、この誤差は要素である。

【0043】

誤差1と誤差2の和はゼロに設定可能である。

【0044】

ここで、 $\kappa^2 AB^* E_{inx} E_{iny} \equiv Re^{j\psi}$  と定義される。

誤差1 =  $2 \in_1 R \cos [\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t) + \psi]$

誤差2 =  $2 \in_1 R \cos [\phi_{2x}(t) - \phi_{1y}(t) + \phi_{1x}(t+\tau) - \phi_{2x}(t+\tau) + \phi_R + \psi]$

【0045】

変調波形が正しく選択されると、誤差1は誤差2を無効にできる。

【0046】

一般基準は以下のものを含む。

【0047】

$$\left\{ \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_{1y}(t) + \psi] + \cos[\overbrace{\phi_{2x}(t) - \phi_{1y}(t) + \phi_{1x}(t+\tau) - \phi_{2x}(t+\tau)}^{\phi_{1x}(t) - \phi_m(t) - \phi_{1y}(t)} + \psi] \right\} \cdot D_s = R_N$$

【0048】

ここで $D_s$ は復調信号であり、 $R_N$ はゼロ結果である。

【0049】

且つここに $\phi_R$ は通常極めて小さいので誤差2から除去される。

【0050】

(プロトン交換IOCの場合)  $\phi_y = 0$ で簡略化され以下の通りになる。

【0051】

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) + \psi] + \cos[\phi_{2x}(t) - \phi_{2x}(t + \tau) + \phi_{1x}(t + \tau) + \psi]\} \cdot D_s = R_N$$

【0052】

次に  $\phi_m(t) \equiv \phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2x}(t)$  と定義される。

【0053】

$\phi_m(t)$ は干渉計の主ビームに与えられる全位相バイアスである。

【0054】

以下の式を満足すると誤差1 + 誤差2はゼロに等しい。

【0055】

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) + \psi] + \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t) + \psi]\} \cdot D_s = R_N$$

【0056】

次いで信号復調 $D_s$ はローパスフィルタ後の $\sin[\phi_m(t)]$ の乗算で表現できる場合が多い。

【0057】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) + \psi] + \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t) + \psi] \rangle = 0$$

【0058】

ここに $\langle \rangle$ は時間平均を示し $\psi$ は変化可能である。 $\psi$ が変化できるとすると、要件は以下の通りになる。

【0059】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t) - \phi_m(t)] \rangle = 0$$

【0060】

ここでなされる複数の視点は、 $\phi_{1x}(t)$  がディザリングされ全ての項それぞれをゼロに平均する、同一の方向に伝播する誤差が反対方向に伝播する誤差を無効にし、個々の項がゼロに平均化されず加算される。

【0061】

$\phi_m(t) = \pm \frac{n\pi}{2}$  で更に簡略化するため、nは奇数の整数で誤差1、2は以下の

通りである。

【0062】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1x}(t)] + \sin[\phi_{1x}(t)] \cos[\phi_m(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1x}(t)] - \cos[\phi_{1x}(t)] \cos[\phi_m(t)] \rangle = 0$$

【0063】

次に誤差3、4の和はゼロとみなせる。

【0064】

$$\kappa^2 A C^* E_{i_n x} E_{i_n y} \equiv S e^{j\gamma} \text{ と定義すると、}$$

【0065】

$$\text{誤差3} = 2 \in_2 S \cos[\phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2y}(t) - \phi_R + \gamma]$$

$$\text{誤差4} = 2 \in_2 S \cos[\phi_{2x}(t) - \phi_{2y}(t) + \gamma]$$

【0066】

誤差無効のための一般基準は以下の通りである。

【0067】

$$\{\cos[\phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t + \tau) + \phi_{2x}(t + \tau) - \phi_{2y}(t) + \gamma] + \cos[\phi_{2x}(t) - \phi_{2y}(t) + \gamma]\} \cdot D_s = R_N$$

【0068】

また  $\phi_R$  は通常極めて小さいので除去される。 $\phi_y = 0$  と  $\phi_m(t)$  定義を用いて簡略化できる。以下の式が満足されると誤差3、4の和はゼロになる。

【0069】

$$\{\cos[\phi_m(t) + \phi_{2x} + \gamma] + \cos[\phi_{2x}(t) + \gamma]\} D_s = R_N$$

【0070】

また  $\sin[\phi_m(t)]$  及びローパスフィルタリングを用いて復調する場合、以下の式が満足されると、誤差3、4の和はゼロに等しくなる。

【0071】

$$\langle \cos[\phi_m(t) + \phi_{2x}(t) + \gamma] \sin[\phi_m(t)] + \cos[\phi_{2x}(t) + \gamma] \sin[\phi_m(t)] \rangle = 0$$

これは一般 $\gamma$ 式であり $\gamma$ なしの以下の2式となる。

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_m(t) + \phi_{2x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_m(t) + \phi_{2x}(t)] + \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

【0072】

また同じ論点を上述のように行うことができる。

【0073】

更に  $\phi_m(t) = \pm \frac{n\pi}{2}$  とし  $n$  が奇数整数とすると、通例のように基準は以下の通りとなる。

【0074】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{2x}(t)] - \sin[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{2x}(t)] + \cos[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

【0075】

図6a、図6b、図6cはそれぞれデュアルランプ閉ループ光ファイバジャイロスコプの波形59、60、61を示す。波形59は  $I_{0,1}$  対  $\phi_m(t)$  の干渉図形である。 $\phi_{1,x}$  に含まれるバイアス変調信号61は図5のジャイロスコプ42の変調器11に印加される。デュアルランプ信号60は  $\phi_{1,x}$  と  $\phi_{2,x}$  とにスプリットされ、夫々変調器11、12に送られる。波形60の次元62は



$\pi$ である。次元51は $\tau$ である。この入力構成はプッシュプル動作する。バイアス変調61は適正周波数であり方形波である。以下の表は2ステップデュアルランプシステムの各種の信号を示す。

【0076】

時間間隔	$[0, \tau]$	$[\tau, 2\tau]$	$[2\tau, 3\tau]$	$[3\tau, 4\tau]$
$\phi_{Bint}$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$
$\frac{1}{2}\phi_{Dual Ramp}$	0	$\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
$\phi_{1r}$	$\pi/4$	$\pi/4$	$5\pi/4$	$\pi/4$
$\phi_{2r}$	0	$-\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/2$
$\phi_m$	$-\pi/2$	$-\frac{3\pi}{2}$	$\frac{3\pi}{2}$	$\pi/2$

$$\phi_m = \phi_{1r}(t) - \phi_{1r}(t + \tau) + \phi_{2r}(t + \tau) - \phi_{2r}(t)$$

【0077】

上述から2ステップデュアルランプの場合の誤差1、2の和に対し基準が検査される。

【0078】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{1r}(t)] + \sin[\phi_{1r}(t)] \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \left(-\frac{\sqrt{2}}{2}\right) + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

$$\Rightarrow \langle +\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

【0079】

両項が $\sqrt{2}/4$ に平均化される。これら誤差は無効にされない。

【0080】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{1r}(t)] - \cos[\phi_{1r}(t)] \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = \sqrt{2}/4$$

$$\Rightarrow \langle -\frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = -\sqrt{2}/4$$

## 【0081】

従ってこの基準は誤差1、2に対し満足される。上述からゼロに等しい誤差3、4に対する基準が検査される。

## 【0082】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \cos[\phi_{2x}(t)] - \sin[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 \quad -1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 \rangle = 0 \quad \text{最初の項}$$

$$\Rightarrow \quad - \langle 0 - 1 + 0 - 1 \rangle = 1/2 \quad \text{2番目の項}$$

## 【0083】

最期の誤差は無効にされない。

## 【0084】

$$\langle \sin[\phi_m(t)] \sin[\phi_{2x}(t)] + \cos[\phi_{2x}(t)] \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle -1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 \quad -1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 \rangle = -1/2 \quad \text{最初の項}$$

$$\Rightarrow \langle 1 + 0 - 1 + 0 \rangle = 0 \quad \text{2番目の項}$$

## 【0085】

この誤差は無効にされない。結論として2ステップデュアルランプはプッシュプル構成の上述した基準を満足しない。

## 【0086】

図7a、図7b、図7cは4ステップデュアルランプ閉ループジャイロスコープの波形63、64、65をそれぞれ示す。波形63は $I_{0,1}$ 対 $\phi_m(t)$ の干渉図形である。 $\phi_{1,x}$ に含まれるバイアス変調信号65は図5の変調器11に印加される。デュアルランプ信号64は $\phi_{1,x}$ と $\phi_{1,x}$ とにスプリットされ、それぞれ変調器11、12へ送られる。波形64の次元66は $\pi$ である。次元67は $\tau$ である。これはプッシュプル動作である。バイアス変調は適正周波数の方形波65である。以下の表は4ステップデュアルランプシステムの各種信号を示す。

## 【0087】

$\phi_{bias}$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$	$\pi/4$	$-\pi/4$
$\frac{1}{2}\phi_{Dual Ramp}$	0	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$	$2\pi$	$3\pi/2$	$\pi$	$\pi/2$
$\phi_{1x}(t)$	$\pi/4$	$\pi/4$	$5\pi/4$	$5\pi/4$	$9\pi/4$	$5\pi/4$	$5\pi/4$	$\pi/4$
$\phi_{2x}(t)$	0	$-\pi/2$	$-\pi$	$-3\pi/2$	$-2\pi$	$-3\pi/2$	$-\pi$	$-\pi/2$
$\phi_m(t)$	$-\pi/2$	$-3\pi/2$	$-\pi/2$	$-3\pi/2$	$3\pi/2$	$\pi/2$	$3\pi/2$	$+\pi/2$

$$\phi_m = \phi_{1x}(t) - \phi_{1x}(t+\tau) + \phi_{2x}(t+\tau) - \phi_{2x}(t)$$

【0088】

ゼロに等しい誤差1、2の和に対する基準は4ステップデュアルランプに対し検査される。

【0089】

$$\langle \sin \phi_m(t) \cos \phi_{1x}(t) + \sin \phi_{1x}(t) \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

最初の項

$$\langle \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

2番目の項

$$\langle \sin \phi_m(t) \sin \phi_{1x}(t) - \cos \phi_{1x}(t) \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} - 1 \cdot \frac{-\sqrt{2}}{2} + 1 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

最初の項

$$- \langle \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \rangle = 0$$

2番目の項

【0090】

誤差1、2はそれぞれゼロに等しい。

【0091】

ゼロに等しい誤差3、4に対する基準は4ステップデュアルランプに対し検査

される。

【0092】

$$\langle \sin \phi_m(t) \cos \phi_{2x}(t) - \sin \phi_{2x}(t) \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot 1 + 1 \cdot 0 - 1 \cdot -1 + 1 \cdot 0 \rangle = 0$$

最初の項

$$- \langle 0 - 1 + 0 + 1 + 0 + 1 + 0 - 1 \rangle = 0$$

2番目の項

$$\langle \sin \phi_m(t) \sin \phi_{2x}(t) + \cos \phi_{2x}(t) \rangle = 0$$

$$\langle -1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot +1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot +1 - 1 \cdot 0 + 1 \cdot -1 \rangle = 0$$

最初の項

$$\langle 1 + 0 - 1 + 0 + 1 + 0 - 1 + 0 \rangle = 0$$

2番目の項

【0093】

誤差3、4はそれぞれゼロである。4ステップデュアルランプは全部で4個の誤差がそれぞれ（ $\pi/2$  バイアス変調深さで）ゼロに変調される場合である。

【0094】

開ループ動作は変調器11と関連すると考えられる。バイアス変調は変調器11に印加される $\phi_1$ に含まれる。バイアス変調は適正周波数である。

【0095】

$$\Rightarrow \phi_m = 2\phi_1$$

【0096】

ゼロに等しい誤差1、2の和に対する上述からの基準が検査される。

【0097】

$$\langle \sin \phi_m \cos \phi_1 + \sin \phi_m \cos(\phi_1 - \phi_m) \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle \sin 2\phi_1 \cos \phi_1 + \sin 2\phi_1 \cos \phi_1 \rangle$$

$$= 2 \langle \sin 2\phi_1 \cos \phi_1 \rangle = 0$$

【0098】

これは奇数関数である。

【0099】

$$\langle \sin \phi_m \sin \phi_1 + \sin \phi_m \sin(\phi_1 - \phi_m) \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle \sin 2\phi_1 \sin \phi_1 + \sin \phi_m \sin(-\phi_1) \rangle = 0$$

【0100】

ここで同一方向に伝播する誤差1は反対方向に伝播する誤差2を無効にする。

【0101】

ゼロに等しい誤差3、4に対する上述の基準が検査される。

【0102】

$$\langle \sin \phi_m \cos(\phi_m + \phi_2) + \sin \phi_m \cos \phi_2 \rangle = 0 \quad \phi_2 = 0$$

$$\Rightarrow \langle \sin \phi_m \cos \phi_m + \sin \phi_m \rangle = 0$$

【0103】

これは奇数関数である。

【0104】

$$\langle \sin \phi_m \sin(\phi_m + \phi_2) + \sin \phi_m \sin \phi_2 \rangle = 0$$

$$\Rightarrow \langle \sin^2 \phi_m \rangle \neq 0$$

【0105】

和において誤差3はゼロに等しくないが、誤差4はゼロに等しい。従って誤差3をガンマトリムする必要がある。

【0106】

次の例は変調器12に印加される搬送波抑制を有する開ループ構成であり、 $\phi_1$ は変調器11に印加される適正周波数のバイアス変調を含む。低い周波数の搬送波抑制信号は変調器12に印加される $\phi_2$ 信号に含まれる。ここに、

【0107】

$$\phi_2 = \langle \cos(\phi_2 + \psi) \rangle = 0$$

が満足されると仮定され、 $\Rightarrow \phi_m \approx 2\phi_1$  and  $\phi_2$ であり、 $\phi_2$ は $\phi_1$ と非同期であり、すべての $\Psi$ 及び $\gamma$ に対し $\Rightarrow \langle \cos(\phi_1 + \gamma) \cos(\phi_2 + \Psi) \rangle = 0$ である。

【0108】

ゼロに等しい誤差1、2に対する上述からの基準が検査され、変調器11を利用する先行の開ループ例と同じ理由のためゼロに等しいことが判明した。

【0109】

ゼロに等しい誤差3、4の和に対する上述からの基準が検査される。

## 【0110】

$\phi_2$  が  $\phi_1$  と非同期なので、

$$\langle \sin \phi_m \cos(\phi_m + \phi_1) + \sin \phi_m \cos \phi_1 \rangle = 0$$

$\phi_2$  が  $\phi_1$  と非同期なので、

$$\langle \sin \phi_m \sin(\phi_m + \phi_1) + \sin \phi_m \sin \phi_1 \rangle = 0$$

## 【0111】

誤差3、4の和がゼロに等しいことが分かる。

## 【0112】

本発明によればセロダイン（あるいはデジタル位相ステップを用いる）またはデュアルランプを用いる開ループ及び閉ループ光ファイバジャイロスコープシステム内で偏光誤差抑制が最適に実現される。（4ステップデュアルランプの最適実施形態はここに説明以外に説明される。）上述したように光ファイバジャイロスコープは偏光誤差を有する。偏光誤差は振幅型あるいは強度型として分類可能である。振幅型偏光誤差はクロスカップリングされた波と主波の干渉に関連する。クロスカップリングされた波は疑似波あるいは従波と呼ばれる。主波は変調信号のパス軸を経て伝達される。従波は変調信号のリジェクト軸で伝達される。強度型偏光誤差はクロスカップリングされた2波の干渉に関連する。更に誤差の分類は図8に関連して行うことができる。IOC41の側Aと関連する振幅型偏光誤差が存在する。これらの誤差は点 $k_1$ 、 $k_2$ でクロスカップリングされた波と主波との間の干渉に関連する。誤差1は同一方向に伝播する波に関連し、誤差2は反対方向に伝播する波に関連する。またIOC41の側Bと関係する振幅型偏光誤差が存在する。この誤差は点 $k_1$ 、 $k_3$ でクロスカップリングされる波と主波との間の干渉に関連する。誤差3は反対方向に伝播する波と関連する。誤差4は同一方向に伝播する波と関連する。最期に誤差5として示される強度型偏光誤差が存在する。誤差5は点 $k_2$ 、 $k_3$ でクロスカップリングされる2波間の干渉と関連し、この両波はジャイロスコープループ内に配置される。誤差1、2、3、4、5はまたそれぞれ1、2、3、4、5の偏光誤差とも呼ばれる。

## 【0113】

偏光誤差を抑制あるいは無効にするためセロダインループ閉鎖の最適実施形態

が存在する。バイアス変調信号がI O C 4 5の変調器1 1に印加され、図9 bのセロサイン信号4 3が図9 aの変調器1 2に印加される。図9 bは $2\pi$ 、 $4\pi$ 、 $\dots$ 、 $n\pi$ ラジアンでの位相変調のピーク対ピーク振幅5 5を有するセロサインループ閉鎖信号4 3、1。(t)を示す。ここにnは整数である。ループ閉鎖信号は偏光誤差の抑制のための基準を満足する。この基準は $\cos(l(t)) \geq 0$ である。この実施形態が最適であるということは当業者には周知とは言えない。信号4 3は代えてデジタル位相ステップ信号(即ちデジタル化されたセロサイン信号)にできる。

#### 【0114】

誤差1、2は振幅が等しいが、符号が逆なのでA側の振幅偏光誤差は自己無効を受ける。B側の振幅偏光誤差は非ゼロ速度でループ閉鎖により抑制される。強度誤差は非ゼロ速度でループ閉鎖により抑制される。1つのクラスの誤差を形成する側A(あるいはB)と関連する多くの誤差が存在する。この変調技術はすべての誤差(クラス)を抑制する。

#### 【0115】

以下に誤差抑制変調でセロサインループ閉鎖の第1の最適実施形態を開示する。セロサインループ閉鎖信号1。(t)は変調器1 1へ印加され、誤差抑制変調 $e_s(t)$ は変調器1 2へ印加される。バイアス変調は両側に印加可能である。偏光誤差抑制の条件 $\cos(e_s(t)) \geq 0$ を満足する多数の波形が存在する。波形4 6、4 7、4 8はそれぞれ図9 c、図9 d、図9 eに示される。誤差抑制波形は低い周波数あるいは検出ループ1 5の適正周波数の偶数倍に近い周波数にする必要がある。適正あるいは固有周波数は $1/2\tau$ に等しく、ここに $\tau$ はループ遷移時間である。

#### 【0116】

以下の説明において誤差抑制波形の周波数は低い(適正周波数より実質的に低い)とする。ループ閉鎖により低い周波数での誤差抑制変調波形 $e_s(t)$ の形状が再構築される。従って誤差抑制変調はI O C 4 5の側A、Bの両方の変調器1 1、1 2にそれぞれ印加される。この構成の例外は図9 eの方形波4 8に用いる場合であり、この波は $\pi/2$ の変調深さ5 8(即ちa)における方形波バイア

ス変調のループ閉鎖に対し不可視であるが、偏光誤差を抑制し得る。方形波48は $(2i+1)\pi/2$ のピーク振幅58を有し、ここで $i$ は0、1、2、...に等しい整数である。バイアス変調が一方の側A（変調器11）に印加されるとき、誤差1、2は振幅が等しいが符号が異なるので、この側と関連する振幅偏光誤差は自己無効とされる。IOC45のB側（変調器12）における振幅偏光誤差は変調器12に印加される誤差抑制変調 $e_s(t)$ により抑制される。同様にバイアス変調が側Bに印加されると、この側と関連する振幅偏光誤差は自己無効とされ、側Aと関連する誤差はループ閉鎖により再構築される波形 $e_s(t)$ によって抑制される。強度偏光誤差は非ゼロ回転速度に対し抑制される。方形波の場合強度誤差はゼロ回転速度を含むすべての回転速度で抑制される。

#### 【0117】

以下に誤差抑制変調でゼロダイナミックループ閉鎖の、第2の最適の実施形態を開示する。バイアス変調は変調器11及びゼロダイナミックループ閉鎖1。 $(t)$ に印加され、誤差抑制信号は図9aのIOC45の変調器12に印加される。この実施形態では誤差抑制波形が閉ループ内で誤差抑制変調 $e_s(t)$ として合成され、式 $\langle \cos(e_s(t)) \rangle = 0$ を満足する形態を取ることができる。最適波形の例が図9c、図9dに示される。波形46のピーク変調深さは約2.4ラジアンであり、この場合この深さ56（即ち $a$ ）のベッセル関数 $J$ は2.40483ラジアンであり $J(a) = 0$ である。ベッセル関数の他のゼロ点は5.52及び8.65ラジアンである。図9dのピーク対ピーク振幅57は $n2\pi$ ラジアンであり、ここに $n$ は整数である。誤差抑制変調信号及びゼロダイナミックループ閉鎖信号の両方は側Bの電極に印加され、次に示す偏光誤差抑制基準を満足する。

#### 【0118】

$$\langle \cos(\ell c(t)) \rangle = 0$$

$$\langle \cos(e_s(t)) \rangle = 0$$

#### 【0119】

IOC45のA側で生じる振幅偏光誤差は自己無効にされる。IOCのB側で生じる振幅偏光誤差は非ゼロ回転速度でのループ閉鎖信号1。 $(t)$ により、及びゼロ回転速度を含むすべての回転速度での誤差抑制変調信号 $e_s(t)$ により



抑制される。強度偏光誤差は非ゼロ及びでのループ閉鎖信号  $l_c(t)$  により、及びゼロ回転速度を含むすべての回転速度での誤差抑制変調信号  $es(t)$  により抑制される。上記はゼロダインあるいはデジタル位相ステップ技術のループ閉鎖の好ましい実施形態を開示する。三角波形 47 は偏光誤差の抑制に加え後方散乱誤差の抑制する。

### 【0120】

プッシュプル構成のゼロダインループ閉鎖の最適の実施形態が図 10 a に示される。バイアス変調信号及びゼロダイン信号  $l_c(t)$  は I O C 50 の変調器 11、12 に印加される。4  $\pi$  リセット 49 を有するゼロダイン波形 53 はは誤差抑制変調として作用する。振幅誤差の抑制は  $n 4 \pi$  の次元 59 を有するリセット 49 に対し生じ、強度誤差の抑制は  $n 2 \pi$  及び  $n 4 \pi$  リセットに対し生じ、こ

こに  $n$  は整数である。偏向誤差抑制の条件は振幅誤差に対し  $\langle \cos\left(\frac{\ell c(t)}{2}\right) \rangle = 0$

として定義され、強度誤差に対しては  $\langle \cos(l c(t)) \rangle = 0$  として定義される。従って振幅及び強度偏光誤差のすべては非ゼロ回転速度で  $n 4 \pi$  の次元 59 のリセット 49 を有するゼロダイン波形 53 により抑制される。

### 【0121】

誤差抑制変調を有する図 10 a のプッシュプル構成内のゼロダインループ閉鎖の別の最適な実施形態がここに説明される。バイアス変調、ゼロダインループ閉鎖信号  $l_c(t)$  53 及び誤差抑制信号の形状が図 9 c、図 9 d に 46、47 として示され、I O C 50 の変調器 11、12 に印加される。一般にバイアス変調は矩形はである必要はない。形状 46、47 の波形は閉ループ内で合成される。振幅誤差に対する誤差抑制要件は次の通りである。

### 【0122】

$$\langle \cos\left(\frac{\ell c(t)}{2}\right) \rangle = 0 \text{ and } \langle \cos\left(\frac{es(t)}{2}\right) \rangle = 0$$

### 【0123】

強度誤差に対する誤差抑制要件は  $\langle \cos(l c(t)) \rangle = 0$  及び  $\langle \cos(es(t)) \rangle = 0$  である。上述した式の一部は複数の解、例えば、 $\langle \cos$

$\langle e_s(t) \rangle \geq 0$ を有し、ここに $e_s(t)$ は $2\pi, 4\pi, \dots, n2\pi$ のピーク対ピーク振幅57に対する三角形は符号47であり、 $n$ は1、2、3、 $\dots$ の整数である。

#### 【0124】

振幅及び強度偏光誤差はすべてIOC50構成に対し非ゼロ回転速度での $4\pi$ リセットを有するセロサイン波形53（図10bの）により抑制される。これらの誤差はまた誤差抑制変調信号に対し波形を適切に選択される場合、すべての回転速度での誤差抑制変調により抑制できる。誤差抑制波形は振幅あるいは強度偏光誤差を抑制するように選択される。ある波形（例えば、三角波若しくは矩形波）は同時に両方の種類の偏光誤差を抑制可能である。正弦波波形46の場合振幅偏光誤差の抑制は振幅56（即ち $a$ ）に対し生じ、この場合 $J$ 。 $(a) = 0$ であり $a$ に対し2.4、5.52、8.65等の値を与える。三角波の波形47の場合、振幅誤差及び強度誤差の両方 $n4\pi$ のピーク対ピーク振幅57に対し抑制される。

#### 【0125】

4ステップを有する図7bのようなデュアルランプ波形は図10aのIOC50の構成に使用可能である。 $\langle \cos \phi_2(t) / 2 \rangle \geq 0$ なら振幅誤差を除去するため他の波形も使用でき、 $\langle \cos \phi_2(t) \rangle = 0$ なら強度誤差を除去するために他の波形も使用可能であり、ここで $\phi_2$ はIOC50の変調器内への抑制波形である。

#### 【0126】

図11aはバイアス変調信号及びループ閉鎖信号の両方がIOC52のA側に入力されるIOC52を示す。バイアス変調信号は変調器11aに入力され、ループ閉鎖信号は変調器11bに入力される。これらの両信号は代わりに加算器33によって加算され図11bに示すIOC79の変調器11に入力可能である。抑制波形発生器80からの搬送波抑制信号はそれぞれ図11a、図11bのIOC52、79の側Bの変調器12に入力される。抑制信号波形の特性は図5のIOC50の変調器12に入力される抑制信号の波形の特性と同一である。

#### 【0127】

図13は各信号をそれぞれ変調器11の各電極に与えることにより、複数の信号発生器（例えば、第1及び第2の変調信号発生器81、82）からの信号が加算あるいは差動の方法で一の変調器11に印加される構成が示される。

#### 【0128】

上述したように減少化関係には、PMジャイロスコープ内のスプライス間のPMファイバの長さを調整すること、あるいはSMジャイロスコープの1あるいは複数の減偏光子のスプライスを調整することが含まれ、減関係は高原のコヒーレンス関数に左右される。コヒーレンス関数はオート関係の関数である。時間的コヒーレンス関数は干渉波の縞の可視性を決定する。光の遅延は検出器での2波が関連付けられないように調整される。バイアス変調が複数の誤差を抑制するために使用される場合、減関係は残りの誤差を抑制するために使用される。減関係は主波及びクロスカップリングされた波が互いに干渉することを防止する。図12aはPMファイバスプライス68を有するPMジャイロスコープ44を示す。スプライス68とIOCの長さとの間のPMファイバの長さすべては必要な減関係を与えるように調整される。

#### 【0129】

図12bはスプライス72を有するSM（減偏光された）ジャイロスコープ54を示す。PMファイバの特定の長さ74、76は減偏光子である。ジャイロスコープ54は単一の減偏光子74または76のみで設計可能である。スプライス72間のPMファイバの長さのすべて及びIOCの長さは必要な減少化関係を与えるように調整される。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

図1は各光路を有する光スプリッタ及び変調器を含む集積光回路（IOC）を備えた光ファイバジャイロスコープを示す。

##### 【図2】

図2は異なる変調器構成を有するIOCを備えた光ファイバジャイロスコープを示す。

##### 【図3】

図3は異なる変調器構成を有するIOCを備えた光ファイバジャイロスコープを示す。

【図4】

図4は異なる変調器構成を有するIOCを備えた光ファイバジャイロスコープを示す。

【図5】

図5は異なる変調器構成を有するIOCを備えた光ファイバジャイロスコープを示す。

【図6a】

図6aは2ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープの干渉図形である。

【図6b】

図6bは2ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープのバイアス変調信号を示す。

【図6c】

図6cは2ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープの波形を示す。

【図7a】

図7aは4ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープの干渉図形である。

【図7b】

図7bは4ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープのバイアス変調信号を示す。

【図7c】

図7cは4ステップ、デュアルランプ、閉ループ光ファイバジャイロスコープの波形を示す。

【図8】

図8は誤差分類のための光スプリッタを有するIOCの図である。

【図9a】

図9 aは図8のI O Cの変調器のレイアウトである。

【図9 b】

図9 bはゼロダインループ閉鎖信号である。

【図9 c】

図9 cは偏光誤差抑制波形の一例である。

【図9 d】

図9 dは偏光誤差抑制波形の別の一例である。

【図9 e】

図9 eは $\pi/2$ 方形波バイアス変調のループ閉鎖に対し不可視の偏光誤差抑制波形である。

【図10 a】

図10 aはI O Cの変調器プッシュプル構成を示す。

【図10 b】

図10 bはプッシュプル構成の振幅及び強度偏光誤差の両方を抑制するゼロダイン波形を示す。

【図11 a】

図11 aは両バイアス変調信号を一方の側へ及び誤差抑制信号を他方の側へ入力するI O C構成を示す。

【図11 b】

図11 bは両バイアス変調信号を一方の側へ及び誤差抑制信号を他方の側へ入力するI O C構成を示す。

【図12 a】

図12 aはPMジャイロスコープの減関係法を示す。

【図12 b】

図12 bはSMジャイロスコープの減関係法を示す。

【図13】

図13は1変調器と接続される複数の変調信号発生器を示す。

【図1】

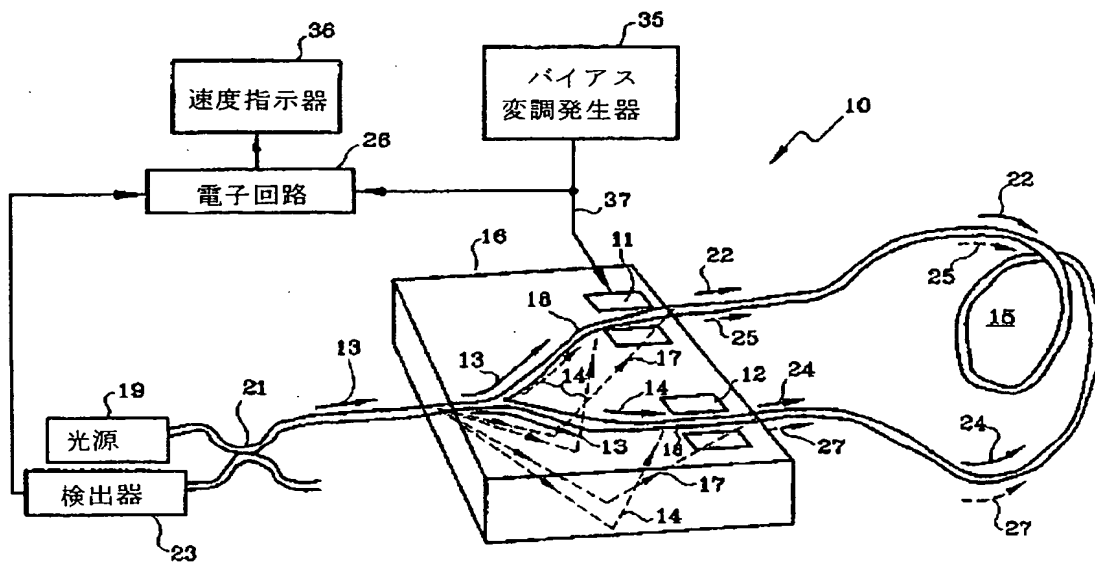


Fig.1

【図2】

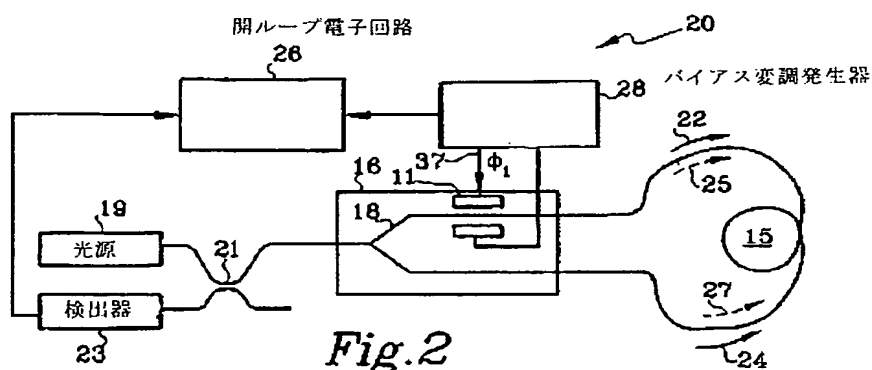


Fig.2

【図3】

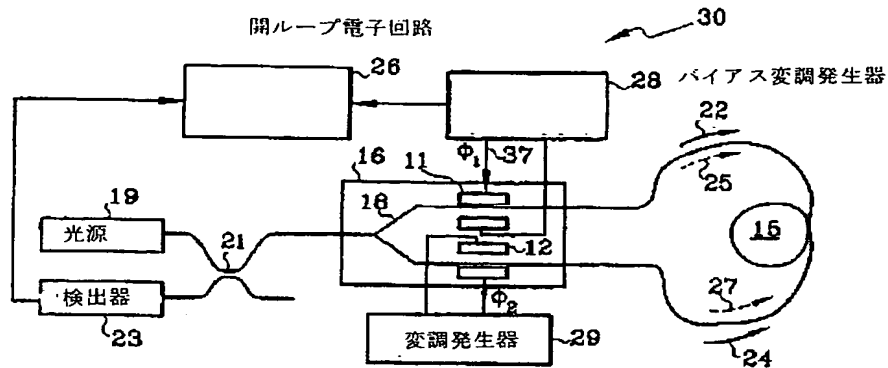


Fig. 3

【図4】

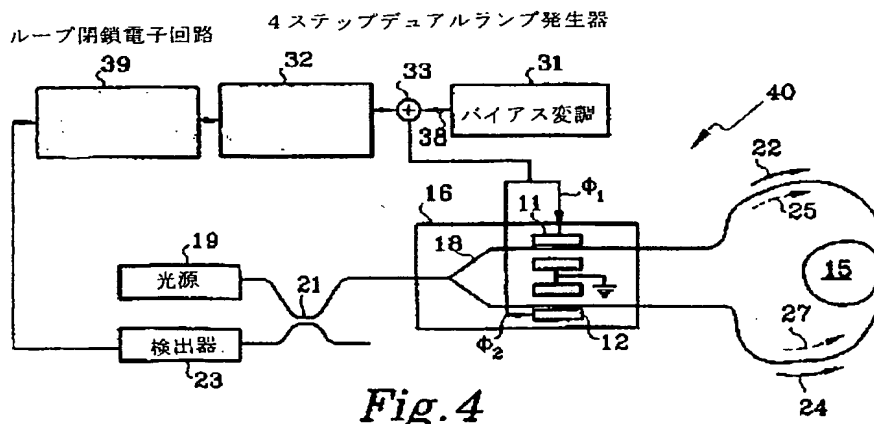


Fig. 4

【図5】

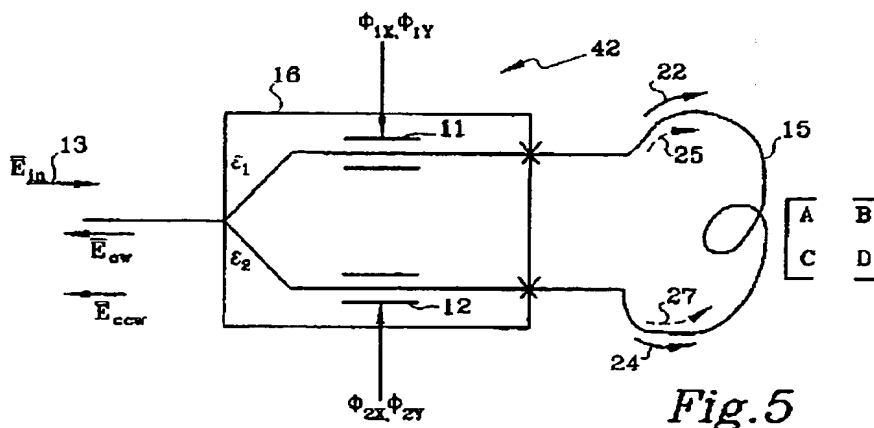


Fig. 5

【図 6 a】

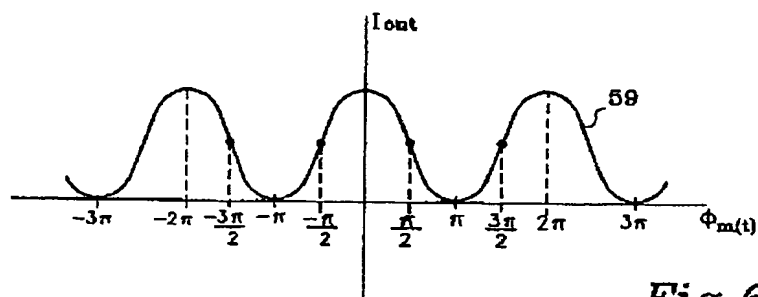


Fig. 6a

【図 6 b】

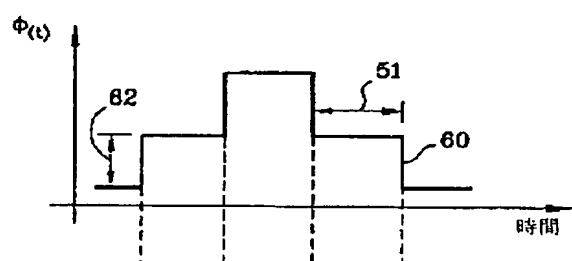


Fig. 6b

【図 6 c】

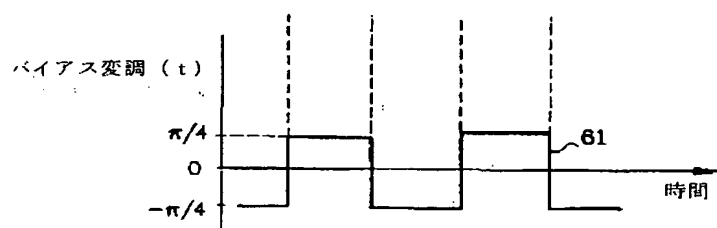


Fig. 6c

【図 7 a】

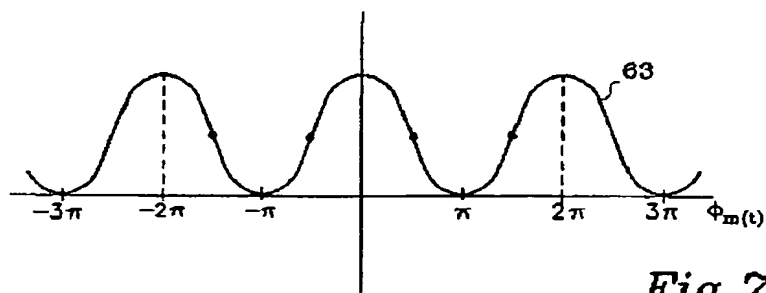


Fig. 7a



【図7b】

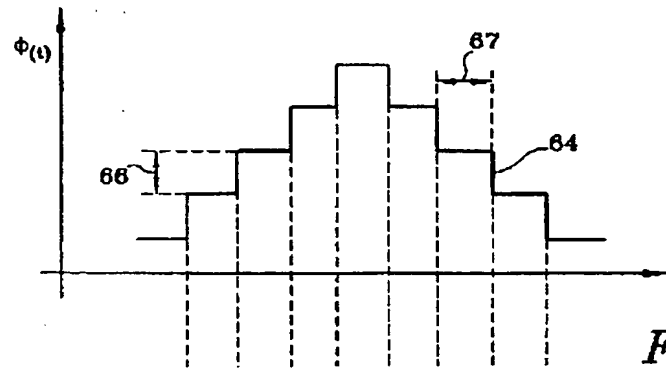


Fig. 7b

【図7c】

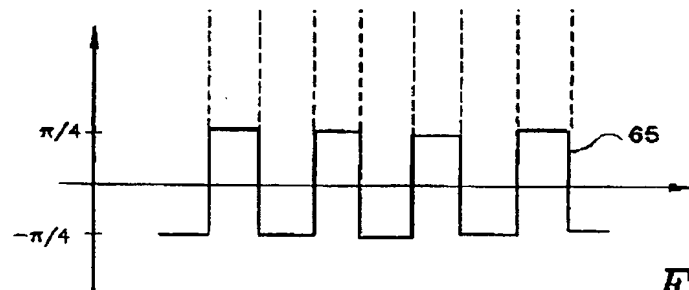


Fig. 7c

【図8】

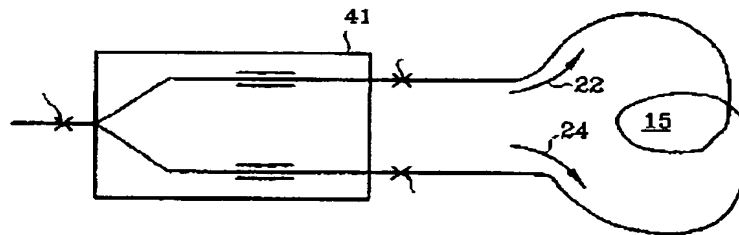


Fig. 8

【図9a】

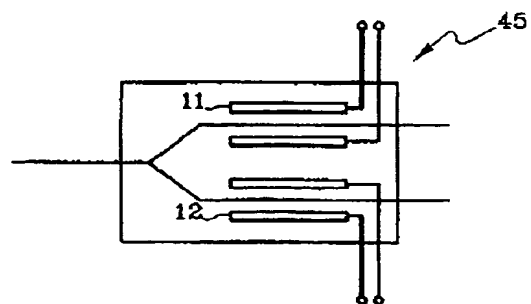


Fig.9a

【図9b】

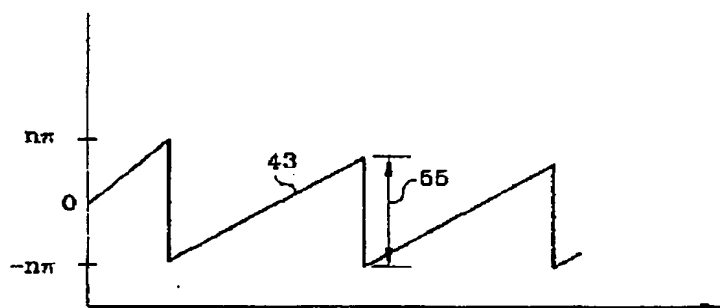


Fig.9b

【図9c】

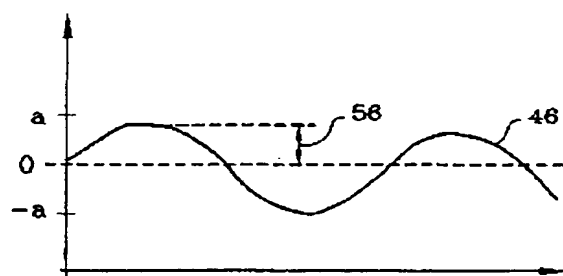


Fig.9c

【図9d】

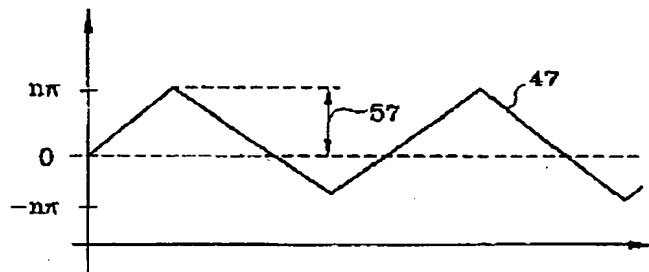


Fig.9d

【図9e】

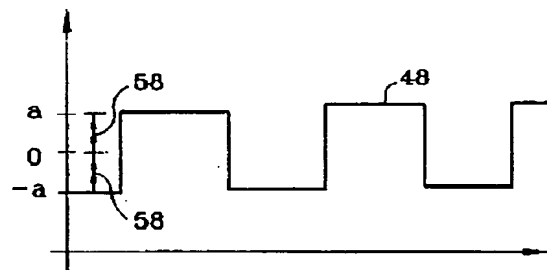


Fig.9e

【図10a】

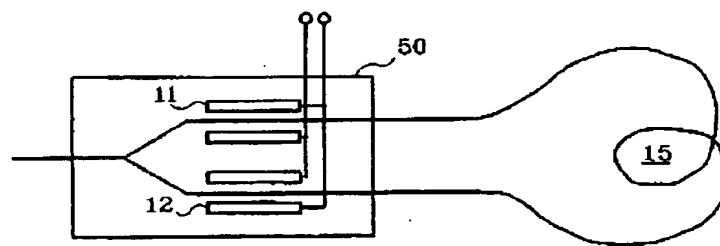


Fig.10a

【図10b】

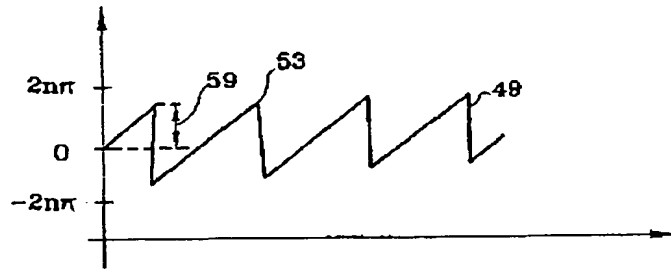


Fig.10b

【図11a】

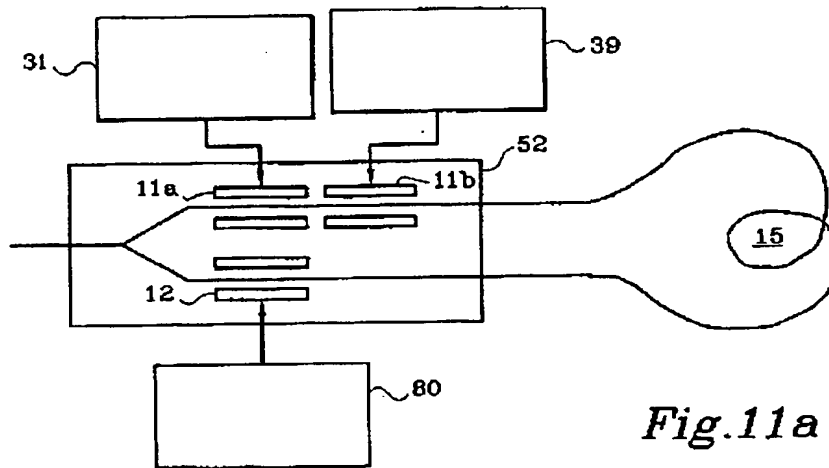


Fig.11a

【図11b】

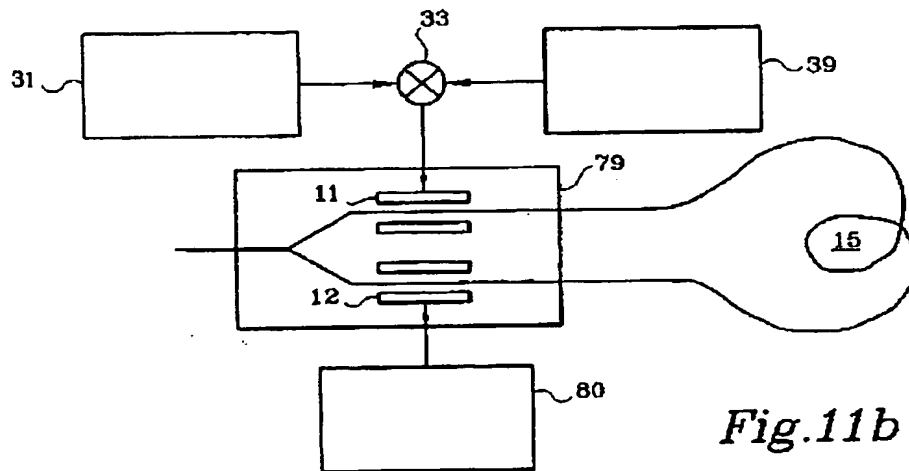
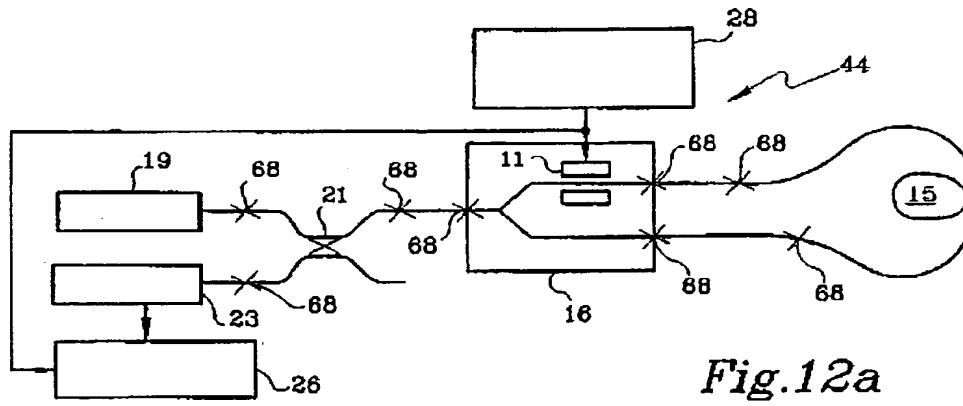
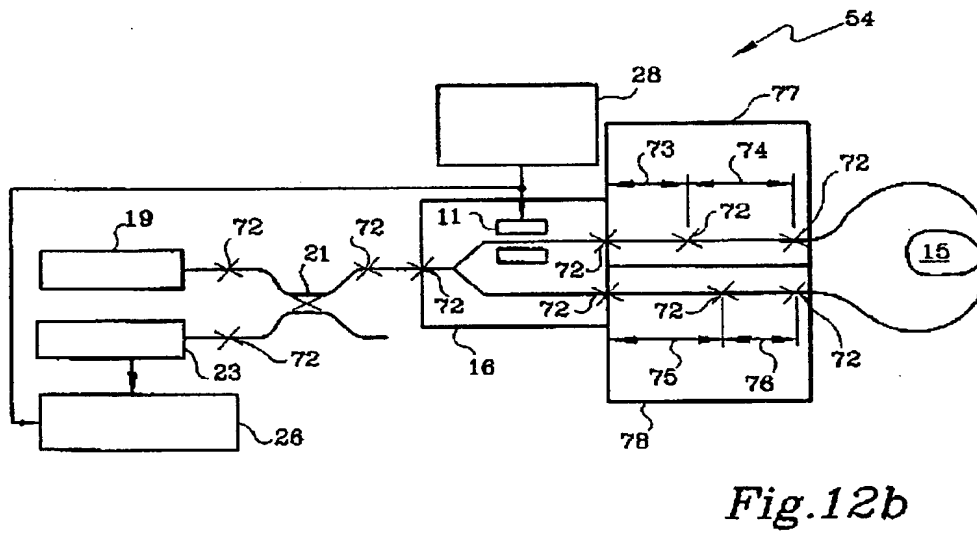


Fig.11b

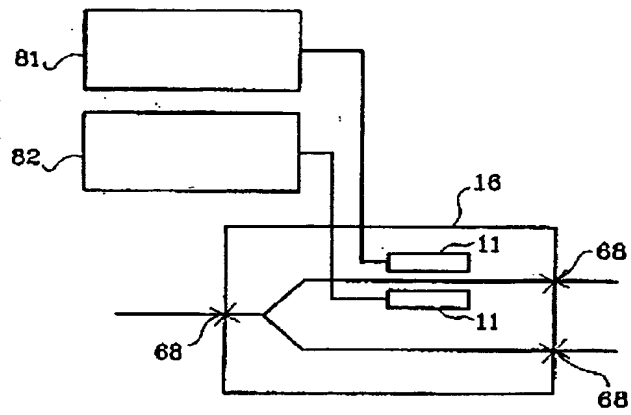
【図12a】



【図12b】



【図13】

*Fig.13*

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.  
PCT/US 99/26517

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01C19/72		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevance to claim No.
X A   A	WO 90 10843 A (OPTISK FORSKNING INST ;STUBBE RAOUL (SE)) 20 September 1990 (1990-09-20) abstract; figure 4  page 2, line 24 -page 3, line 3 page 6, line 21 -page 7, line 7 --- US 5 377 283 A (BLAKE JAMES N ET AL) 27 December 1994 (1994-12-27) cited in the application abstract column 10, line 18 -column 13, line 11 column 62, line 32 - line 60 --- -/--	1  4,6,9, 19,28, 35,46, 65,81    1-4
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art. "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 11 April 2000		Date of mailing of the international search report 17/04/2000
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentean 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 851 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3018		Authorized officer Hunt, J

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern. Application No.  
PCT/US 99/26517

## C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 602 642 A (BERGH RALPH A ET AL) 11 February 1997 (1997-02-11) column 10, line 15 - line 52 column 11, line 4 - line 7; figures 2-4	1,4,5,9
A	US 5 296 912 A (STRANDJORD LEE K ET AL) 22 March 1994 (1994-03-22) abstract; claims	1



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Intern. Application No.

PCT/US 99/26517

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 9010843 A	20-09-1990	EP 0434775 A	03-07-1991
US 5377283 A	27-12-1994	AU 4399493 A	30-12-1993
		BR 9306194 A	23-06-1998
		CA 2129979 A	09-12-1993
		DE 69311722 D	24-07-1997
		DE 69311722 T	08-01-1998
		EP 0642654 A	15-03-1995
		EP 0760461 A	05-03-1997
		EP 0760462 A	05-03-1997
		ES 2105282 T	16-10-1997
		JP 2863007 B	03-03-1999
		JP 8504267 T	07-05-1996
		WO 9324807 A	09-12-1993
US 5602642 A	11-02-1997	WO 9641131 A	19-12-1996
US 5296912 A	22-03-1994	DE 69300849 D	04-01-1996
		DE 69300849 T	13-06-1996
		EP 0576663 A	05-01-1994
		JP 6507727 T	01-09-1994
		WO 9314380 A	22-07-1993

---

フロントページの続き

(72)発明者 ランジ, チャールズ エイチ,  
アメリカ合衆国 アリゾナ州 85310, グ  
レンデイル, ダブリユウ, アラメダ  
4611

(72)発明者 ストランドジヨード, リー ケイ,  
アメリカ合衆国 ミネソタ州 55331, ト  
ンカ ベイ, ヒル クレスト ドライブ  
35

F ターム(参考) 2F105 BB03 DE01 DE06 DE12 DE13  
DE14 DE21 DE23 DE27 DE28  
DF07 DF10